

## Задания с решениями первого тура отборочного этапа Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 10-11 классы

### Тестовая задача (6 баллов).

Нужно оптимизировать процесс работы конвейера по подаче деталей для тестирования. С целью экономии электроэнергии необходимо добиться, чтобы стальная деталь, разогнавшись до некоторой скорости, двигалась по инерции до полной остановки, пройдя при этом за время  $t = 0,5$  с расстояние  $s = 1$  м по горизонтальному неподвижному конвейеру. Какой материал покрытия для конвейерной ленты необходимо выбрать (см. таблицу)? Считать ускорение свободного падения  $g$  равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

Таблица 1. Коэффициент трения скольжения различных материалов по стали.

Материал	Коэффициент трения скольжения
Резина	0,8
Асбестовая ткань	0,35
Хлопчатобумажная ткань	0,3
Полиэтилен	0,2
Тефлон	0,04

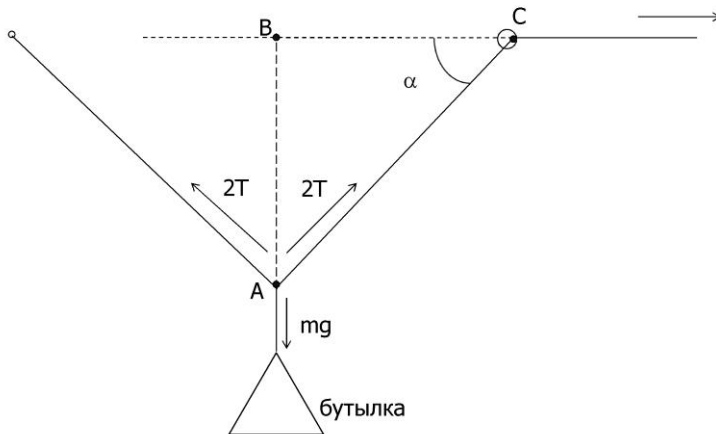
Решение: Поскольку при движении с постоянным ускорением  $a$  пройденный за время  $t$  путь  $s$  равен  $at^2/2$ , по приведенным в задаче данным находим  $a = 2s/t^2$ . При движении по горизонтальной поверхности под действием силы трения скольжения тело движется с ускорением  $gk$ , где  $k$  – коэффициент трения скольжения. Поэтому, приравнивая  $a$  и  $gk$ , получаем  $k = 2s/gt^2 = 0,8$ . В соответствии с таблицей необходимо выбрать резину.

Ответ: резина.

### Задача 1 (10 баллов).

Предложите способ определения прочности нити на разрыв с помощью пластиковой бутылки с водой массой 2.0 кг и рулетки. Никакими другими измерительными приборами пользоваться нельзя. Известно, что прочность нити на разрыв меньше 8 Н.

Решение: Нужно сложить нить вдвое, подвесить на ней бутылку, и определить угол, при котором она порвется при постепенном вытягивании, как показано на рисунке. В момент разрыва нити условие равновесия дает  $4T\sin\alpha = mg$ , откуда  $T = mg/4\sin\alpha$ , где  $T$  – прочность нити. Величину  $\sin\alpha$  можно определить с помощью рулетки, измерив гипотенузу  $AC$  и катет  $AB$  прямоугольного треугольника  $ABC$ . Критический угол  $\alpha$  равен приблизительно  $39^\circ$ .



### **Задача 2 (10 баллов).**

Усовершенствуйте вольтметр, шкала которого составляет 30 В, а его внутреннее сопротивление равно 100 кОм, если в вашем распоряжении есть два резистора по 200 кОм каждый. Какое наибольшее напряжение можно измерить с помощью усовершенствованного вольтметра?

Решение: Для того, чтобы получить возможность измерять как можно большее напряжение, последовательно с вольтметром надо включить как можно большее сопротивление. Если внутреннее сопротивление вольтметра  $r$ , а подключаемое сопротивление  $R$ , то на вольтметре возникает напряжение  $V = Ur/(r+R)$ , где  $U$  – измеряемое напряжение. Поэтому  $U = V(r+R)/r$ ; из имеющихся двух резисторов можно, соединив их последовательно, составить резистор сопротивлением  $R = 400$  кОм. Поскольку  $V = 30$  В, для  $U$  получаем 150 В.

Ответ: 150 В

### **Задача 3 (15 баллов).**

Юные техники конструируют парогенератор. Для моделирования процесса у них в наличии есть 1 литр воды, кастрюля, нагреватель мощностью  $W = 100$  Вт и термopара. Обнаруживается, что воду в кастрюле никак не удастся довести до кипения нагревателем мощностью 100 Вт: температура воды повышается до  $T = 96^\circ\text{C}$  и дальше не растет. Конструкторы решают положить в кастрюлю еще один такой же кипятильник. Через какое время вода закипит в этом случае? Что можно сделать для того, чтобы вода в кастрюле закипела без дополнительного кипятильника?

Решение. При установившейся температуре мощность тепловых потерь равна мощности нагревателя, т.е.  $W$ . Поэтому после добавления второго кипятильника собственно на нагревание воды будет расходоваться мощность этого добавленного кипятильника, т.е. тоже  $W$ . Если масса воды  $m$ , а удельная теплоемкость воды  $\lambda$ , то за время  $t$  температура воды повысится на  $\Delta T = Wt/(m\lambda)$ . Отсюда  $t = m\lambda\Delta T/W$ . В нашем случае  $\Delta T = T_{\text{кипения}} - T = 4^\circ\text{C}$ ,  $m = 1$  кг; принимая удельную теплоемкость воды  $\lambda$  равной 4200 Дж/(кг град), получаем  $t = 168$  с  $\sim 3$  минуты. В решении не учитывалась зависимость удельной теплоемкости воды и тепловых потерь от температуры воды; это оправданно, т.к. указанные величины слабо меняются в небольшом интервале температур от  $96^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$ . Для того, чтобы вода в кастрюле закипела без дополнительного кипятильника, можно, например, попытаться теплоизолировать кастрюлю.

Ответ: 168 с ~ 3 минуты.

#### **Задача 4 (12 баллов).**

Шестеренка с незакрепленной осью расположена между двумя параллельными зубчатыми рейками, движущимися со скоростями  $V_1 = 20$  см/с и  $V_2 = 40$  см/с в противоположных направлениях. С какой скоростью движется центр шестеренки?

Решение. Пусть первая рейка движется вправо, а вторая влево. Из исходной системы отсчета, в которой заданы скорости реек, перейдем в систему отсчета, связанную с первой рейкой, скорость которой  $V_1$ ; в этой системе отсчета верхняя рейка движется влево со скоростью  $V_1 + V_2$ , а шестеренка катится (не проскальзывая относительно реек) по первой рейке. Если колесо катится без проскальзывания, то скорость его центра равна половине скорости верхней точки. Поэтому скорость центра шестеренки относительно первой рейки есть  $(V_1 + V_2)/2$  и направлена влево. Но скорость первой рейки относительно исходной системы отсчета равна  $V_1$  и направлена вправо. Поэтому скорость центра шестеренки относительно исходной системы отсчета есть  $V = (V_1 + V_2)/2 - V_1 = (V_2 - V_1)/2 = 10$  см/с и направлена в ту же сторону, что и скорость второй рейки.  
Ответ: 10 см/с и направлена в сторону движения второй рейки.

#### **Задача 5 (11 баллов).**

В лаборатории научно-исследовательского института потребовалось провести регенерацию 5,54 г платиносодержащих отходов. В качестве отходов имелась металлическая стружка, содержащая металлы: железо, медь, платину. Регенерацию проводили по следующей методике. Металлическую стружку кипятили в разбавленной азотной кислоте. Не растворившуюся «тонкую» фракцию отфильтровывали и растворяли при кипячении в царской водке. Полученный раствор упаривали до сиропообразной консистенции и добавляли небольшое количество соляной кислоты. К полученному раствору приливали раствор  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Выпавший желтый осадок отфильтровывали и прокаливали до образования серой губчатой массы. Маточный раствор и промывные воды собирали и добавляли к ним избыток гранулированного цинка. Выпал осадок черного цвета, который затем отфильтровали, промыли и высушили.

- Напишите все реакции, происходившие при регенерации платиновых отходов в лаборатории. Почему платина растворяется в царской водке и не растворяется в кислотах? Напишите реакции. (5 баллов)
- Рассчитайте потери платины при регенерации, если исходная стружка содержала 28 % платины, а суммарная масса полученных платиновых отходов составила 1,38 г с содержанием платины 97%. (4 балла)
- Почему полученная при регенерации платина содержит примеси? (2 балла)

Решение:

Имеющиеся примеси меди и железа растворялись при кипячении с азотной кислотой согласно уравнениям:

1. А)  $\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}$
1. Б)  $\text{Fe} + 4\text{HNO}_3(\text{разб.}, \text{горяч.}) = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$

Платина растворяется в царской водке, образуя устойчивые комплексы с хлоридом.

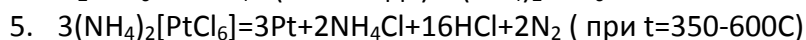
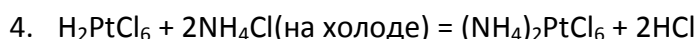
Взаимодействие с царской водкой протекает согласно уравнениям:

2.  $3\text{Pt} + 18\text{HCl} + 4\text{HNO}_3 = 3\text{H}_2[\text{PtCl}_6] + 4\text{NO} + 8\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{Pt} + 6\text{HCl} + 2\text{HNO}_3 = \text{H}_2[\text{PtCl}_6] + \text{NO} + \text{NO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

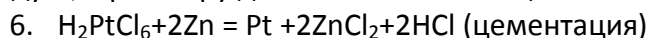
Нужно сказать, что во время протекания реакции 2 идет побочная реакция  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$  с  $\text{NOCl}$ , который получается по следующей реакции:  $\text{HNO}_3 + 3\text{HCl} = 2\text{Cl}\cdot + \text{NOCl} + 2\text{H}_2\text{O}$ :

3.  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6] + 2\text{NOCl} = (\text{NO})_2[\text{PtCl}_6] + 2\text{HCl}$

$\text{HCl}$  добавляют, чтобы разрушить полученный комплекс  $(\text{NO})_2[\text{PtCl}_6]$  посредством смещения равновесия влево. Данная фраза говорит о том, что вся платина переходит в комплекс  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ .



Но в маточном растворе все-же остается некое количество  $\text{H}_2\text{PtCl}_6$ . Чтобы не потерять ценный продукт, к раствору добавляют избыток цинка:



Потери в данном случае составят:  $100 - 100 \cdot 1,38 \cdot 0,97 / 5,54 \cdot 0,28 = 14\%$

В качестве примесей будут присутствовать железо и медь, которые могли быть покрыты платиной и не раствориться в азотной кислоте.

### **Задача 6 (15 баллов).**

Газ, выбрасываемый трубами химического завода имеет следующий состав (объемные доли  $\varphi$  в %):  $\varphi(\text{CO}_2) - 10,0$ ;  $\varphi(\text{CO}) - 20,0$ ;  $\varphi(\text{H}_2) - 2,0$ ;  $\varphi(\text{CH}_4) - 0,6$ ;  $\varphi(\text{C}_3\text{H}_8) - 0,2$ ;  $\varphi(\text{N}_2) - 50,2$ ;  $\varphi(\text{C}_7\text{H}_8) - 3,0$ ;  $\varphi(\text{H}_2\text{O}_r) - 14,0$ .

- Напишите все уравнения реакций сгорания компонентов выбрасываемого трубами завода газов. **(8 баллов)**
- Рассчитайте, сколько потребуется воздуха (в  $\text{м}^3$ ) для полного сжигания  $200\text{ м}^3$  этого газа (объемы измерены при одной температуре). Считать, что содержание кислорода в воздухе около 20% по объему. **(4 балла)**
- Определите количественный состав продуктов сжигания доменного газа в избытке воздуха. **(3 балла)**

Решение:

Из вышеперечисленных газов подвергаться сжиганию будут  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_7\text{H}_8$ .

Уравнения реакций:

- $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{CO}_2$ ;
- $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$ ;
- $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ;
- $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 = 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ ;
- $\text{C}_7\text{H}_8 + 9 \text{O}_2 = 7\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ ;

Составим таблицу

	$\text{CO}_2$	$\text{CO}$	$\text{H}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{N}_2$	$\text{C}_7\text{H}_8$	$\text{H}_2\text{O}$
Объем, $\text{м}^3$	20	40	4	1,2	0,4	100,4	6	28
Сколько нужно $\text{O}_2$ , $\text{м}^3$	0	20	2	2,4	2,0	0	54	0
Конечная смесь	$20\text{м}^3 \text{CO}_2$	$40\text{м}^3 \text{CO}_2$	$4\text{м}^3 \text{H}_2\text{O}$	$1,2\text{м}^3 \text{CO}_2$ , $2,4\text{м}^3 \text{H}_2\text{O}$	$1,2\text{м}^3 \text{CO}_2$ , $1,6\text{м}^3 \text{H}_2\text{O}$ .	$100,4\text{м}^3 \text{N}_2$	$42\text{м}^3 \text{CO}_2$ , $24\text{м}^3 \text{H}_2\text{O}$ .	$28\text{м}^3 \text{H}_2\text{O}$

Как видно по результатам таблицы, для полного сгорания всех веществ нужно  $80,4\text{ м}^3$  кислорода или  $70/0,2 = 402\text{ м}^3$  воздуха. В конечной смеси будет  $100,4\text{ м}^3 \text{N}_2$ ,  $104,4\text{ м}^3 \text{CO}_2$  и  $60\text{ м}^3 \text{H}_2\text{O}$ .

Количественный состав смеси после сжигания: 37,9%  $\text{N}_2$ , 39,4%  $\text{CO}_2$ , 22,7%  $\text{H}_2\text{O}$ .

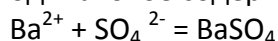
### **Задача 7 (8 баллов).**

В городской водозабор стекают стоки из двух цехов химического предприятия. В первом цехе на  $1\text{ т}$  производимой продукции образуется  $8\text{ м}^3$  водных стоков, содержащих  $1,5\text{ г/м}^3$  сульфата

магния. Во втором цехе на 1 т продукции образуется  $16 \text{ м}^3$  стоков с содержанием  $3,56 \text{ г/м}^3$  гидроксида бария.

- Определите оптимальное соотношение производительностей этих цехов (в тоннах продукции), при котором загрязнение воды было бы минимальным. (4 балла)
- Как должна будет выглядеть схема водостоков предприятия? (1 балл)
- Каков будет размер этого загрязнения на одну тонну СОВОКУПНЫХ отходов от химического предприятия, если произведение растворимости  $\text{BaSO}_4 = 1,8 \cdot 10^{-10}$ . (3 балла)

Решение. Предполагается, что почти весь сульфат бария будет осаждаться внутри специально придуманного отстойника. Схема должна будет включать в себя две трубы – потока, после чего все будет попадать в специальную цистерну-отстойник, откуда мы периодически будем убирать осадок. Для оптимизации процесса нужно сделать, чтобы в исходящих из трубы растворах было одинаковое содержание ионов бария и сульфат-ионов.



Концентрация сульфат-ионов составит 12 г на одну тонну воды ( $12/120 = 0,1$  моль).

Концентрация ионов бария составит 57 грамм на одну тонну воды ( $57/171 = 0,333$  моль).

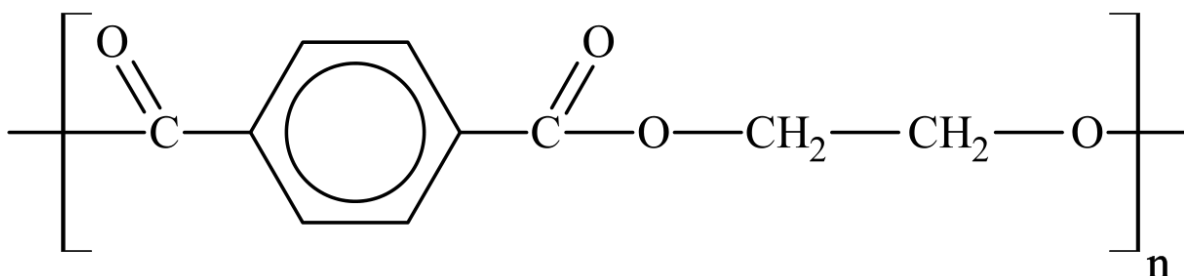
Таким образом, нужно чтобы первый цех работал в три раза больше. Тогда все будет нейтрализоваться.

$$\text{ПР} = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = (S^2) = 1,8 \cdot 10^{-10}$$

$S(\text{растворимость}) = 1,34 \cdot 10^{-5}$  грамм на литр. Или  $1,34 \cdot 10^{-2}$  граммов на тонну воды, что не будет иметь характер загрязнения.

### Задача 8 (13 баллов).

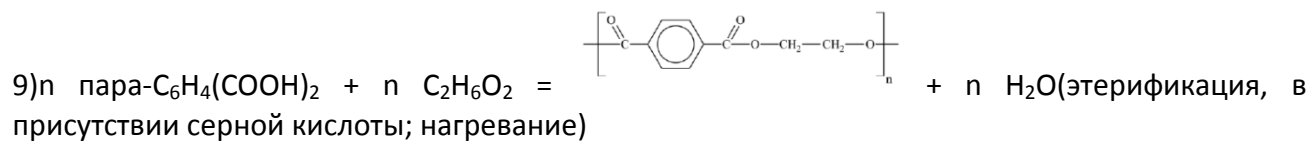
Одним из основных материалов для производства пластмассовых бутылок является полиэтилентерефталат:



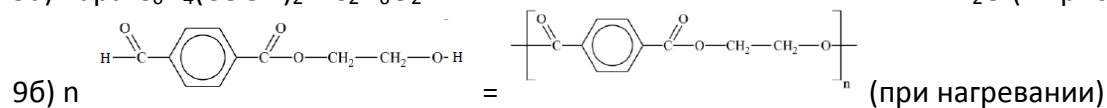
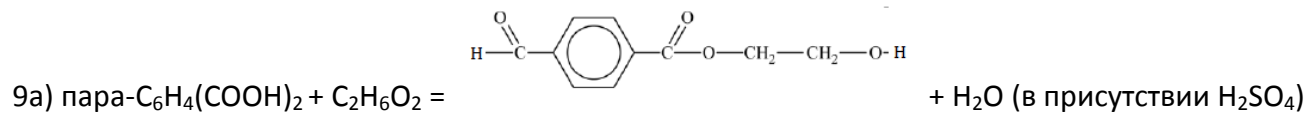
- Предложите методику синтеза ПЭТ из ацетилена, пропина и неорганических веществ. (10 баллов)
- Как данное соединение называлось в СССР? Откуда произошло это название? (3 балла)

Решение:

- 1)  $\text{C}_3\text{H}_4 + \text{HBr} = \text{транс-С}_3\text{H}_5\text{Br}$  (Реакция протекает по механизму Хараши. Кат. –  $\text{H}_2\text{O}_2$ );
- 2)  $2\text{C}_3\text{H}_5\text{Br} + 2\text{Na} = \text{C}_6\text{H}_{10} + 2\text{NaBr}$  (реакция Вюрца приведет к образованию транс,транс-2,4-гександиена);
- 3)  $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{Br}_2 = \text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_2$ ;
- 4)  $\text{C}_6\text{H}_{10} + \text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_2 = \text{C}_8\text{H}_{12}\text{Br}_2$ ; (реакция Дильса-Альдера)
- 5)  $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{Br}_2 + 2\text{NaOH}_{(\text{спирт})} = \text{C}_8\text{H}_{10} + 2\text{NaBr} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 6)  $5\text{C}_8\text{H}_{10} + 12\text{KMnO}_4 + 18\text{H}_2\text{SO}_4 = 5\text{пара-С}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2 + 6\text{K}_2\text{SO}_4 + 12\text{MnSO}_4 + 28\text{H}_2\text{O}$
- 7)  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_2 + \text{H}_2 = \text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$  (Никелевый или платиновый катализатор, температура);
- 8)  $\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH} + \text{CaCl}_2$  (при нагревании)



Или (данную реакцию можно разбить на две):



Отечественное название – лавсан, лавсановые волокна. Произошло от названия Лаборатории Высокомолекулярных Соединений Академии Наук.